

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2014/2015 Academic Session

December 2014 / January 2015

## **EBS 315/3 - Hydrometallurgy** ***[Hidrometalurgi]***

Duration : 3 hours  
*[Masa : 3 jam]*

---

Please ensure that this examination paper contains EIGHTEEN printed pages before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi LAPAN BELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

This paper consists of SEVEN questions.

*[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan.]*

**Instruction:** Answer **FIVE** questions. If a candidate answers more than five questions only the first five questions answered in the answer script would be examined.

**Arahan:** Jawab **LIMA** soalan. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]

The answers to all questions must start on a new page.

*[Mulakan jawapan anda untuk semua soalan pada muka surat yang baru.]*

You may answer a question either in Bahasa Malaysia or in English.

*[Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]*

In the event of any discrepancies in the examination questions, the English version shall be used.

*[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah digunakan.]*

1. [a] Describe the five characteristics of solvents used in hydrometallurgy for leaching.

The selectivity of a particular type of reagent depends on three factors.

What are these factors?

*Bincangkan lima ciri-ciri pelarut yang digunakan dalam hidrometalurgi pelarutlesapan.*

*Kememilihan suatu reagen yang tertentu bergantung kepada tiga faktor.*

*Apakah faktor-faktor ini?*

(30 marks/markah)

- [b] Figure 1.0 below shows a schematic diagram of an *in-situ* leaching for an oxide and sulphide copper ores.

With reference to Figure 1.0 below, briefly describe the method of *in-situ* leaching for the recovery of copper from the oxide and sulphide copper ore bodies, giving a simple description of each stage of operation from leaching at the mine site to the production of copper via solvent extraction and electrowinning.

*Rajah 1.0 di bawah menunjukkan satu gambarajah skema pelarutlesapan setempat bagi bijih kuprum oksida dan sulfida.*

*Merujuk kepada Rajah 1.0 di atas, terangkan dengan ringkas kaedah pelarutlesapan setempat bagi perolehan kuprum dari bijih oksida dan sulfida kuprum, dengan memberikan penerangan mudah bagi setiap peringkat operasi dari pelarutlesapan di tapak lombong kepada penghasilan kuprum melalui pengekstrakan pelarut dan elektrolehan.*

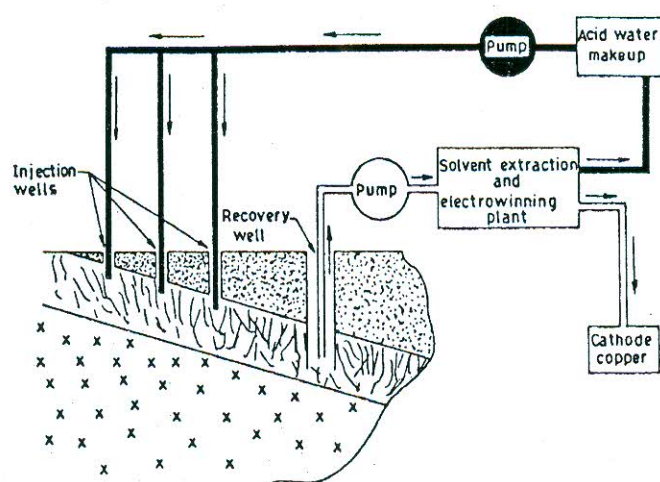


Figure 1.0: A schematic diagram of an *in-situ* leaching for an oxide and sulfide copper ores

*Rajah 1.0 : Gambarajah skema satu pelarutlesapan setempat bagi satu bijih oksida dan sulfida kuprum*

(40 marks/markah)

...4/-

- [c] Briefly explain the characteristics differences between percolation leaching, a heap and a dump leaching based on grade and size of the ore, transportation, extraction rate and operational cost. With a sketch, explains the operation of a heap or a dump leaching.

*Terangkan secara ringkas perbezaan ciri antara pelarutlesapan penelusan, pelarutlesapan himpunan dan timbunan berdasarkan kepada gred dan saiz bijih, pengangkutan, kadar cepat pengekstrakan dan kos operasi. Dengan satu lakaran, terangkan operasi pelarutlesapan himpunan atau timbunan.*

(30 marks/markah)

2. [a] Ion exchange is a type of heterogeneous process between the solution and solid phases. State the five rate controlling steps in an ion-exchange process.

*Penukaran ion merupakan satu proses heterogen di antara fasa larutan dan pepejal. Nyatakan lima langkah penentu kadar dalam proses penukaran ion.*

(20 marks/markah)

- [b] Uranium is recovered from mineral leach solutions as an anionic sulfate or carbonate complex, depending on the nature of the ore body. With the aid of a schematic layout, briefly explain the continuous counter current ion exchange process used in the uranium recovery plant and its advantages.

*Uranium diperolehi dari larutan pelarutlesapan mineral sebagai sulfat anionik atau kompleks karbonat bergantung kepada keadaan semula jadi jasad bijih tersebut. Dengan bantuan satu gambarajah skema, terangkan secara ringkas proses penukaran ion berterusan berlawanan arus yang digunakan dalam loji perolehan uranium dan kebaikannya.*

(40 marks/markah)

...5/-



- [c] Briefly explains the adsorption of gold onto activated carbon and the factors affecting the adsorption process. What are the differences between the two reactor systems, CIP and CIL, used in the gold adsorption circuit?

Sketch the carbon adsorption circuit for the gold recovery process.

*Terangkan secara ringkas penjerapan emas ke atas karbon teraktif dan faktor-faktor yang mempengaruhi proses penjerapan. Apakah perbezaan antara dua sistem reaktor, CIP dan CIL, yang digunakan dalam litar penjerapan emas?.*

*Lakarkan gambarajah litar penjerapan karbon bagi proses perolehan emas.*

(40 marks/markah)

3. [a] State the advantages and limitations of a microbial leaching process.

*Nyatakan kebaikan dan halangan dalam proses pelarutlesapan mikrobial.*

(20 marks/markah)

- [b] In agitation leaching, stirring is used to aid the dissolution process. With the aid of a schematic diagram, briefly describe agitation by a compressed air using a pachuka tank.

*Dalam pelarutlesapan pengadukan, proses pelarutan dibantu dengan pengadukan. Dengan bantuan gambarajah skema, terangkan secara ringkas, pengadukan secara udara termampat menggunakan satu tangki pachuka.*

(20 marks/markah)

- [c] A Vat leaching plant in Bao, Sabah, has 6 vats (14 x 9 x 6 m). The plant operation is a counter current leaching process treating 500 metric tonnes of ore per day. The ore contain 2.28% Cu, 1.9% copper oxide and 0.3% copper sulfide that is not leached in the Vat. The enriched pregnant solution contain 45 kg/m<sup>3</sup> Cu and 30 kg/m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> that enters the electrolytic plant. The electrolytic solution from the cell is recycled as leachant that contain 25 kg/m<sup>3</sup> Cu and 70 kg/m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. About 85% of the oxide copper is leached in this process.

Draw a schematic diagram of the plant and make assumptions using a close system.

Obtain:

- (i) The volume of acid used for one metric tonne of ore.
- (ii) Acid consumption in metric tonne/tonne of ore.
- (iii) Copper leached in solution per day.
- (iv) The solid/liquid ratio in the vat tank.
- (v) Average dissolution rate of copper in the Vat during leaching assuming that the time taken:

Transport the ore into the Vat Tank	-	8 h
Leaching time	-	96 h
Washing and removing ore from vat tank	-	16 h
<hr/>		
Total time		120 h/ cycle

Satu loji pelarutlesapan Vat di Bao, Sabah, mempunyai 6 vat ( $4 \times 9 \times 6$  m). Operasi loji adalah aliran arus berlawanan yang merawat 500 tan metrik bijih. Bijih ini mengandungi 2.28% Cu, 1.9% kuprum oksida dan 0.3% kuprum sulfida yang tidak dilarutlesapkan dalam vat. Larutan yang diperkaya (larutan pregnan) mengandungi  $45 \text{ kg/m}^3$  Cu dan  $30 \text{ kg/m}^3$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang masuk ke loji elektrolitik. Larutan elektrolitik dari sel dikitar semula sebagai lisen yang mengandungi  $25 \text{ kg/m}^3$  Cu dan  $70 \text{ kg/m}^3$   $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Sebanyak 85% dari oksida kuprum dilarutlesapkan dalam proses ini.

Lukiskan satu carta alir skema untuk loji ini dengan mengandaikan satu sistem tertutup.

Dapatkan:

- (i) Isipadu larutan asid yang digunakan untuk satu tan metrik bijih.
- (ii) Isipadu larutan asid yang digunakan dalam tan metrik/tan bijih.
- (iii) Kuprum yang dilarutlesapkan dalam larutan sehari.
- (iv) Nisbah pepejal/cecair dalam tangki vat.
- (v) Purata kadar pelarutan kuprum dalam vat semasa pelarutlesapan dengan mengandaikan masa:

Masa pemunggahan bijih ke dalam vat	-	8 jam
Masa pelarutlesapan	-	96 jam
Cucian dan mengeluarkan bijih dari tangki vat	-	16 jam
<hr/>		
Jumlah masa		120 jam/kitar

(60 marks/markah)

4. [a] Iron is a very common impurity in zinc leach solutions due to the formation of zinc ferrite ( $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) after roasting. With the aid of a process flow sheet, briefly discuss the jarosite precipitation process in the separation of iron from zinc leached solutions.

*Ferum merupakan bendasing yang biasa terdapat dalam larutan pelarutlesapan zink disebabkan oleh pembentukan zink ferrit ( $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) selepas pemanggangan. Dengan bantuan satu carta alir proses, terangkan secara ringkas, proses pemendakan jarosit dalam pemisahan ferum dari larutan pelarutlesapan zink.*

(30 marks/markah)



- [b] Figure 2 shows a typical process flow sheet for a carbon-in-pulp (CIP) plant for gold and silver recovery.

Briefly describe each stage of leaching, adsorption, elution and carbon regeneration until the final recovery of Au and Ag from the electrowinning process as shown in the circuit in Figure 2 below.

*Rajah 2 menunjukkan satu carta alir proses bagi karbon-dalam-pulpa (CIP) bagi perolehan emas dan argentum.*

*Terangkan secara ringkas setiap peringkat pelarutlesapan, penjerapan, elusi dan penjanaan karbon sehingga kepada perolehan Au dan Ag seperti ditunjukkan dalam litar Rajah 2 di bawah.*

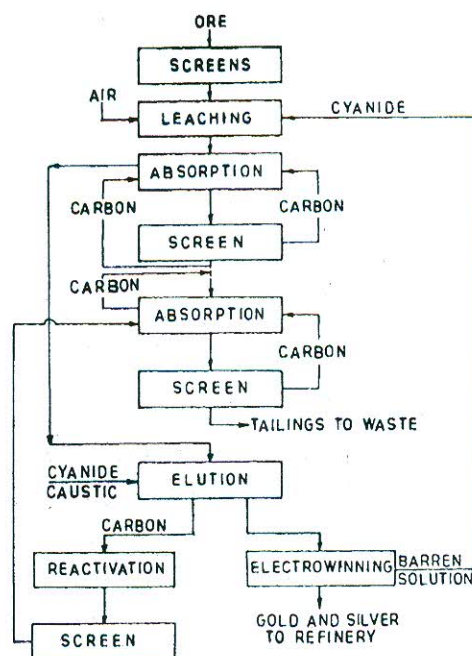


Figure 2: A typical process flow sheet for a carbon-in-pulp (CIP) plant for Au and Ag recovery

*Rajah 2: Satu carta alir proses bagi loji karbon-dalam-pulpa bagi perolehan Au dan Ag*

(30 marks/markah)

...10/-

- [c] An agitation plant in Sabah leaches a feed consisting of 1250 metric tpd oxide flotation concentrates (24 % Cu), 100 metric tpd roaster calcines (48% Cu) and 130 metric tpd copper-cobalt ores (12 % Cu). The plant brings into solution 360 metric tonne Cu /day. The leachant is spent electrolyte carrying  $62 \text{ kg/m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$  and  $30 \text{ kg/m}^3$  copper. The pregnant solution from leach carries  $7 \text{ kg/m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$  and  $55 \text{ kg/m}^3$  copper.

Find the efficiency of extraction, the volume of leach solution per day and pulp density in the reactors.

*Satu loji pengadukan melarutlesapkan satu suapan bijih yang mengandungi 1250 metrik tan /sehari konsentrat oksida pengapungan (24 % Cu), 100 tan metrik / sehari pemangganan terkalsin (48% Cu) dan 130 tan metrik / sehari bijih kuprum-kobalt (12 % Cu). Loji ini melarutlesapkan sebanyak 360 tan metrik Cu /sehari. Reagen pelarutlesapan adalah elektrolit terpakai yang membawa sebanyak  $62 \text{ kg/m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$  dan  $30 \text{ kg/m}^3$  kuprum. Larutan pregnan dari pelarutlesapan membawa sebanyak  $7 \text{ kg/m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$  dan  $55 \text{ kg/m}^3$  kuprum.*

*Dapatkan kecekapan pengekstrakan, isipadu larutan pelarutlesapan dan ketumpatan pulpa dalam reaktor.*

(40 marks/markah)

5. [a] What is Platinum Group Metals (PGM)  
Why PGM is very important?  
List all the reasons.

*Apakah dia logam kumpulan Platinum (PGM)?  
Mengapa PGM adalah sangat penting?  
Senaraikan semua sebab-sebab kepentingannya.*

(25 marks/markah)

...11/-

- [b] There are two ways to extract PGM. One is to extract from the ores and the other is to extract from the catalyst.

What are the principal differences of both ways?

*Terdapat dua kaedah untuk mengekstrak PGM. Salah satunya adalah pengekstrakan daripada bijih dan yang lainnya, pengekstrakan daripada pemangkin.*

*Apakah perbezaan utama antara kedua-dua kaedah tersebut?*

(25 marks/markah)

- [c] A geologist has made a characterization study of some unknown samples (likely solid metals) from the location somewhere in Montana State, USA. It looks like the rock samples can be chemically formed with iodide, chloride and oxide. The rock samples were then comminuted to a certain size reduction range. Based on this information and the characterization results shown below in Table 1, proceed with the extraction method for the samples.

Draw a sketch flow chart and list all equipment selected for each process stage.

Give reasons for all the equipments selected.

Properties	Data
Atomic number	78
Atomic weight	195.084
Hardness	3.5 Mohs
Melting point	1768.3 °C
Color	greyish white
Density near room temperature	21.4
Liquid density	19.77
Boiling point	3825 °C

Table I: Characterization results of the geological sample

Seorang ahli geologi telah membuat kajian pencirian beberapa sampel yang tidak diketahui (mungkin logam pepejal) dari lokasi di suatu tempat di Negeri Montana, Amerika Syarikat. Kelihatan seperti sampel batuan ini boleh terbentuk secara kimia dengan iodida, klorida dan oksida. Sampel batuan ini, kemudian dikisar menjadi serbuk pada satu julat pengurangan saiz tertentu.

Berdasarkan kepada maklumat ini dan keputusan pencirian dalam Jadual I di bawah ini, apakah kaedah pengekstrakan yang terbaik bagi sampel itu?

Lukiskan lakaran carta aliran dan senaraikan semua peralatan yang dipilih untuk setiap peringkat proses.

Berikan sebab-sebab pemilihan peralatan-peralatan tersebut.

<i>Sifat-sifat</i>	<i>Data</i>
<i>No. atom</i>	78
<i>Berat atom</i>	195.084
<i>Kekerasan</i>	3.5 Mohs
<i>Takat lebur</i>	1768.3 °C
<i>Warna</i>	putih kelabu
<i>Ketumpatan pada suhu bilik</i>	21.4
<i>Ketumpatan cecair</i>	19.77
<i>Takat didih</i>	3825 °C

Jadual I: Keputusan pencirian sampel geologi

(50 marks/markah)



6. [a] Gaseous reduction of metal:



- (i) At equilibrium,  $E_{H_2} = E_M$ . What is the requirement for the reaction equation in (6.1) to be thermodynamically feasible?

*Penurunan logam dengan gas:*



- (i) Pada keseimbangan,  $E_{H_2} = E_M$ . apakah keperluan bagi tindak balas dalam persamaan (6.1) untuk berlaku secara termodinamik.

(10 marks/markah)

- (ii) Write the simplified Nernst equation for these potential electrodes at 25°C.

*Tuliskan persamaan Nernst yang telah dipermudahkan bagi keupayaan elektrod ini pada 25°C.*

(10marks/markah)

- [b] In the electro-winning of Zn from zinc sulfate solution, the cell voltage, current density and current efficiency are 2.5 V, 0.05A/cm<sup>2</sup> and 95% respectively. Calculate the electrical energy consumption in kWh/kg zinc and then determined the volume of hydrogen gas produced during the process at STP.

Given: 1 mol gas at STP: 22.4 dm<sup>3</sup>

Atomic Weight of Zn: 65.4g/mol

I F: 96500 C/mol

*Dalam elektrolehan Zn dari larutan zinc sulfat, voltan sel, ketupatan arus dan kecekapan arus adalah masin-masing 2.5 V, 0.05A/cm<sup>2</sup> and 95%. Kirakan penggunaan tenaga elektrik dalam kWh/kg zink dan kemudian tentukan isipadu gas hydrogen yang terhasil semasa proses pada STP.*

*Diberikan: 1 mol gas pada STP: 22.4 dm<sup>3</sup>*

*Berat Atom Zn: 65.4g/mol*

*I F: 96500 C/mol*

(40 marks/markah)

- [c] Explain why Aluminium cannot be electrolytically refined using aqueous electrolyte. In industry, the production of aluminium is carried out using molten cryolite bath. Write the reactions that occur at the graphite anode and molten aluminium which acted as the cathode.

Briefly explain why the process cannot achieve 100% efficiency (in industry the efficiency differs from 88% -95%).

*Terangkan mengapa penulenan aluminium tidak boleh dilakukan secara elektolitik menggunakan larutan elektrolit. Dalam industri, penghasilan aluminium dijalankan menggunakan leburan kriyolit. Tuliskan tindakbalas kimia yang berlaku pada anod grafit dan pada leburan aluminium yang bertindak sebagai katod.*

*Terangkan secara ringkas mengapa kecekapan proses tidak boleh mencapai 100% (dalam industri kecekapan ini berbeza dari 88%-95%).*

(40 marks/markah)

7. [a] In a copper electro-winning plant, the leaching operations (in  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) plus solvent extraction operations produce solutions containing 30-60kg/m<sup>3</sup> of dissolved copper. The copper in this solution is recovered by electro-winning process.

- (i) State the essential difference between an electro-winning and an electro-refining process of copper.
- (ii) Write the electro-winning reactions for the copper and what are the products at the cathode and anode.

*Dalam loji elektrolehan kuprum, operasi pelarutlesapan (dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan pengekstrakan pelarut menghasilkan larutan-larutan yang mengandungi 30-60kg/m<sup>3</sup> kuprum terlarut. Kuprum dalam larutan ini diperolehi melalui proses elektrolehan.*

- (i) *Nyatakan perbezaan yang penting antara proses elektrolehan dan elektrotulenan bagi kuprum.*
- (ii) *Tuliskan tindakbalas elektrolehan bagi kuprum dan apakah hasil pada katod dan anod.*

(30 marks/markah)



[b] In the electrorefining of copper, anodes and cathodes of dimensions about 1.5m x 1.5 m are used and the anode-cathodes separation is 3 cm. The electrolyte consists of approximately 1mol/l  $\text{CuSO}_4$  and 1.7 mol/l  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $K = 0.581 \text{ S cm}^{-1}$ ).

- (i) Calculate the voltage drop between anode and cathode due to the resistance of the electrolyte at a current density of  $300\text{A/m}^2$ .
- (ii) If the electrolyte contained only 0.5mol/l  $\text{CuSO}_4$  ( $K=0.025 \text{ S cm}^{-1}$ ), what would be the voltage drop?

*Dalam elektrotulenan kuprum, dimensi anod dan katod yang digunakan adalah 1.5m x 1.5 m dan jarak di antara anod dan katod ialah 3cm. Elektrolit mengandungi lebih kurang 1mol/l  $\text{CuSO}_4$  and 1.7 mol/l  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $K=0.581 \text{ S cm}^{-1}$ ).*

- (i) Kirakan penurunan voltan di antara anod dan katod disebabkan oleh rintangan elektrolit pada ketumpatan arus  $300\text{A/m}^2$ .*
- (ii) Jika elektrolit mengandungi hanya 0.5mol/l  $\text{CuSO}_4$  ( $K=0.025 \text{ S cm}^{-1}$ ), apakah penurunan voltan sebenarnya?*

(30 marks/markah)

- [c] 100 metric tons of a copper concentrate averaging 21% are to be processed in 6 months (with 25 working days per month and 8 hour working hours per day). The concentrate is to be leached by sulphuric acid and the solution electrolyzed. Estimate the minimum rating (voltage and current) of the power supply unit for 14 cells in series.

Given:  $E^\circ$  (cathode) = -0.447V,  $E^\circ$  (anode) = 1.24V and  $F = 96,500C$ .

*100 tan metrik konsentrat kuprum dengan kandungan purata 21% kuprum akan diproseskan dalam masa 6 bulan (dalam 25 hari bekerja setiap bulan dan 8 jam waktu bekerja sehari). Konsentrat akan dilarutlesapkan menggunakan asid sulfurik dan larutan dielektrolisiskan. Anggarkan kadar minima (voltan dan arus) unit bekalan tenaga bagi 14 sel yang disusun bersiri.*

*Diberikan:  $E^\circ$  (katod) = -0.447V,  $E^\circ$  (anod) = 1.24V and  $F = 96,500C$ .*

(40 marks/markah)